

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Filip Golub



Sveučilište u Zagrebu
Grafčki fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ KOLIČINE FUNKCIONALNIH PREMAZA NA SVOJSTVA OTISAKA

Mentor:

doc. dr. sc. Tomislav Cigula

Student:

Filip Golub

Zagreb, 2019.

SAŽETAK

U raznim industrijama postoje različiti načini za obradu materijala kako bi oni ispunili svoju ulogu. Ambalažni materijali moraju očuvati proizvod, ali vrlo često i vizualno privlačiti potrošača. Kako bi se postigla funkcija ambalaže vrlo se često provodi premazivanje otisnute ambalaže.

Cilj ovog rada je odrediti utjecaj funkcionalnih premaza na otiske primarnih boja na ambalažnom materijalu. U svrhu provedbe ovog istraživanja pripremit će se otisci procesnih boja te će se na njih aplicirati pripremljeni funkcionalni premaz u različitim nanosima. Evaluacija otisaka će se provesti kolorimetrijski te određivanjem mehaničkih svojstava (otpornost na savijanje).

Rezultati ovog istraživanja su pokazali da se upotrebom aniloksa različitih volumena povećava prijenos premaza na mat papiru dok se na sjajnim papirima nije primjetila promjena. Istraživanja su također pokazala da količina premaza na otisku povećava sjaj i otpornost na savijanje otisaka neovisno o boji. S druge strane lakiranje otisaka nepovoljno je utjecalo na kolorimetrijske razlike na mat papiru.

Iz rezultata se može zaključiti da se povećanjem količine premaza pozitivno utječe na mehanička svojstva papira, ali se istovremeno uzrokuju odstupanja u boji zbog kojih je potrebno izvršiti testiranja radi izbjegavanja nesuglasica između proizvođača i kupaca proizvoda.

Ključne riječi: Ambalaža, ofsetni tisak, funkcionalni premaz, papir, otpornost na savijanje , kolorimetrijska razlika

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Cilj rada	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1 Ambalaža	2
2.1.1. Funkcija ambalaže.....	2
2.1.2. Materijali u ambalaži.....	3
2.1.3. Papirnata i kartonska ambalaža	3
2.1.4. Trendovi u ambalaži	5
2.2. Tiskarske boje	6
2.2.1. Sastav tiskarske boje.....	6
2.2.2. Tiskarske boje po tehnikama tiska.....	7
2.2.3. Boje na bazi otapala	9
2.2.4. Boje na bazi vode.....	10
2.3. Lakovi i premazi	10
2.3.1. Uloga lakova	10
2.3.2. Vrste premaza i lakova.....	11
2.3.3. UV lakovi.....	12
2.3.4. Silicijev dioksid.....	14
3. EKSPERIMENTALNI DIO	15
3.1 Priprema uzoraka	15
3.1.1. Tisak procesnih boja	15
3.1.2. Lakiranje uzoraka.....	16
3.2 Evaluacija uzoraka	17
3.2.1. Spektrofotometrija	17
3.2.2. Sjajnost.....	18
3.2.3. Konaktni kut	19
3.2.4. Otpornost na savijanje.....	19
3.2.5. Masa lakiranih uzoraka	20
4. REZULTATI I RASPRAVA	22
4.1. Rezultati određivanja mase uzoraka.....	22
4.2. Rezultati mjerenja kontaktnog kuta s vodom	23
4.3. Rezultati kolorimetrijskih mjerenja.....	24
4.4. Rezultati određivanja otpornosti na savijanje	25
4.5. Rezultati mjerenja sjaja	26

5. ZAKLJUČAK	28
6. LITERATURA	29

1. UVOD

1.1. Cilj rada

Ambalažni materijali moraju očuvati proizvod, ali vrlo često i vizualno privlačiti potrošača. Kako bi se postigla funkcija ambalaže vrlo se često provodi premazivanje otisnute ambalaže. Na tržištu postoje različite vrste premaza i lakova kao i načina premazivanja otisaka.

Cilj ovog rada je odrediti utjecaj funkcionalnih premaza odnosno količine nanosa na otiske primarnih boja na ambalažnom materijalu. Da bi se provelo ovo istraživanje pripremit će se otisci procesnih boja te će se na njih aplicirati pripremljeni funkcionalni premazi u različitim nanosima tehnikom fleksotiska. Pripremljeni otisci će se evaluirati određivanjem njihovih optičkih (kolorimetrijske vrijednosti te sjaj) te mehanička svojstva tj. otpornost materijala na savijanje.

2. TEORIJSKI DIO

2.1 Ambalaža

Ambalaža služi kao sredstvo komuniciranja između kupca i proizvođača. Osim navedenog, ambalaža ima i niz uloga povezanih s očuvanjem i skladištenjem proizvoda. Ambalaža je medij koji prenosi informacije bojom, oblikom, veličinom i ostalim svojim elementima.

2.1.1. Funkcija ambalaže

Funkcija ambalaže se može promatrati sa različitih gledišta. Ovisno o vrsti robe i skladišno-transportnim uvjetima određene funkcije će biti naglašenije. Osnovne funkcije ambalaže su:

- Zaštitna funkcija
- Marketinška funkcija
- Uporabna funkcija
- Ekološka funkcija

Ambalaža mora zaštititi robu od trenutka pakiranja, tijekom transporta, skladištenja, prodaje i tijekom uporabe. Roba je tijekom cijelog tog puta izložena mehaničkim naprezanjima, djelovanju klimatskih uvjeta i mikroorganizama. Ambalaža mora zaštititi robu od bilo kojeg vanjskog utjecaja koji može uzrokovati fizičke, kemijske ili mikrobiološke promjene robe.

Skladištenje robe vremenski i prostorno povezuje nabavu sirovine i pomoćnih materijala s procesom proizvodnje, te pojedinih faza proizvodnje i proizvodnju s prodajom i potrošnjom robe. Ambalaža s dobro riješenim skladišno-transportnim funkcijama omogućava racionalno korištenje skladišnog i transportnog prostora [1].

Ambalaža koja ima dobro realiziranu funkciju povećava opseg prodaje. Ona mora privući pažnju kupca, izazvati njegovu zainteresiranost u vrlo kratkom vremenu, prenijeti mu poruku te ga potaknuti na kupnju. Prodajna ambalaža mora jamčiti kvalitetu i količinu zapakirane robe, odnosno jamčiti kupcu da nitko prije njega nije ambalažu otvarao ili je oštetio.

Ambalaža s dobro realiziranom uporabnom funkcijom treba omogućiti lako otvaranje, pripremu robe za uporabu, uzimanje potrebne količine robe bez rasipanja i ponovno

zatvaranje u koliko je to nužno. Ambalaža od papira, kartona, polimernih i metalnih folija uglavnom se lako otvara kidanjem. Metalna i staklena ambalaža se otvara teže.

Ekološka funkcija ambalaže razvila se u posljednjih dvadesetak godina kao posljedica brige za zaštitu okoliša. Donosi se sve veći broj propisa vezanih za gospodarenje ambalažnim otpadom [2].

2.1.2. Materijali u ambalaži

Odabir ambalaže materijala osnovni je element kreiranja ambalaže. Za uspješnu realizaciju funkcije ambalaže materijal mora biti postojan i nepropustljiv za određene kemijske tvari. Različiti materijali imaju drugačija svojstva mehaničke postojanosti, mehaničke nepropusnosti, toplinske provodnosti, i općenito različita tehnološka svojstva.

Ambalažni materijal može biti Drvo, papir(karton i ljepenka), metali, polimerni materijali, laminati, staklo [3].

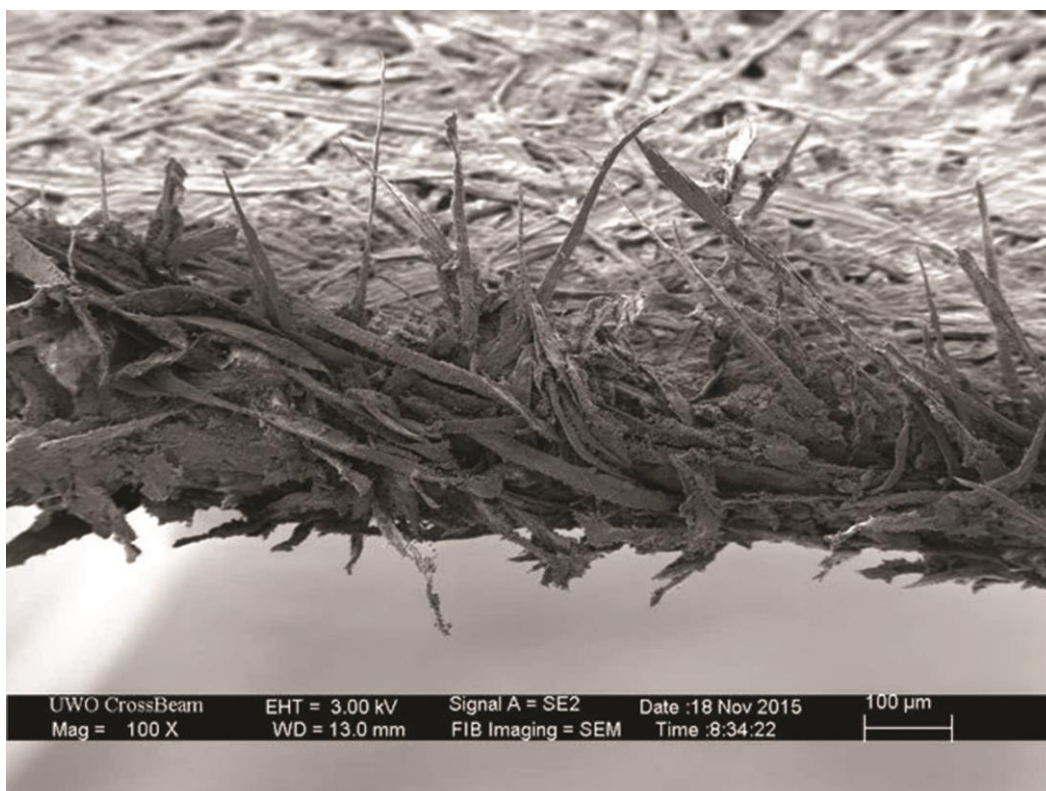
2.1.3. Papirnata i kartonska ambalaža

2.1.3.1 Papir

Papir je tanka plošna tvorevina dobivena ispreplitanjem celuloznih vlaknaca (kao što je vidljivo na slici 1.), kojima su dodana punila, keljiva i bojila, čime se poboljšavaju optička svojstva. Ovisno o vrsti celulozne sirovine i njezinom načinu razvlaknjivanja, dobivaju se papiri različitih mehaničkih i kemijskih svojstava [3].

Drvo je najvažnija sirovina za proizvodnju drvenjače i celuloze. Proizvodnja celuloza se provodi kemijskim i mehaničkim postupkom dobivanja kaše, koja se još naziva i pulpa. Osnova tih postupaka je delignifikacija drvne mase. Cilj delignifikacije je međusobno razdijeliti vlakna, a da se celuloza i kemi-celuloze što manje oštete.

Kemijska pulpa ima puno bolja svojstva od mehaničke, razlog tome je zaostali lignin u mehaničkoj pulpi. Zaostali lignin dovodi do neujednačenosti bjeline papira. Mehanička pulpa se koristi uglavnom za proizvodnju novinskih papira, kartona i papira koji neće imati dugoročnu uporabu [4].



Slika 1. Mikroskopski prikaz ruba papira

Izvor:

https://www.reddit.com/r/interestingasfuck/comments/b4xs8a/edge_of_a_piece_of_paper_under_an_electron/

Punila su anorganski, najčešće mineralni dodaci u proizvodnji papira koji se mogu dodavati u masi prilikom proizvodnje ili naknadno u obliku površinskog premaza i tada se dobiva premazni papir. Tijekom proizvodnje papira dodaju se u pulpu u obliku praškastih bijelih pigmenata. Najčešća korištena punila su karbonati, kao kalcijev karbonat, oksidi, kao titan dioksid, ili silikati, kao magnezijev silikat.

Uloga punila u proizvodnji papira je višestruka, prije svega dodatak punila utječe na mogućnost povećanja gramature papira bez povećanja debljine do koje bi došlo dodavanjem vlakanaca. Također doprinose i optičkim svojstvima papira, povećavaju svjetlinu, bjelinu i opacitet. Dodatkom punila papiri su podatniji za tisak jer su kompaktniji i površina im je glađa.

Keljiva su organski dodaci papiru koji se mogu dodavati u masu prilikom proizvodnje papira ili u obliku tankog površinskog premaza. Keljiva mogu biti biljnog, životinjskog ili sintetskog porijekla, a koriste se biljne smole, škrob, parafin i sl.

Uloga keljiva je homogenizirati strukturu papira i doprinijeti smanjenju upojnosti, čime se doprinosi dimenzionalnoj stabilnosti papira.

Bojila su dodaci papiru koji se najčešće dodaju u masu prilikom izrade papira, a mogu biti topiva ili pigmentna. Bojila služe ili za povećanje stupnja bjeline kod izrade bijelih papira ili za izradu obojenih papira u bilo kojem tonu. U skupinu bojila spadaju i specijalni dodaci za izradu izrazito bijelih papira, tzv. optička bjelila. Radi se o pigmentima koji djelomično apsorbiraju ultraljubičasto zračenje, a reflektiraju zrake iz vidljivog dijela u ljubičasto plavom ili plavom dijelu spektra čime stvaraju dojam iznimno bijele površine papira anulirajući žućkasti ton celuloze [4,5].

2.1.3.2 Karton

Papir i karton međusobno se razlikuju prema debljini, odnosno gramaturi, a u određenoj mjeri i u postupku izrade. Ne postoji oštra granica koja dijeli papir, karton i ljepenku. Jedna od predloženih podjela prikazana je u tablici:

Tablica 1 Podjela papira po gramaturi (Klemm) [6].

Papir	<150 g/m ²
Karton	250-500 g/m ²
Ljepenke	>600 g/m ²

Ljepenka je višeslojni karton koji se ne može savijati a svi su slojevi iste kvalitete. Proizvodi se od mokrih listova papira koji se slažu jedan preko drugog, prešaju isuš. Ima vrlo dobra mehanička svojstva. Gotovo polovica cjelokupne proizvodnje ambalaže na svijetu otpada na proizvode od papira, kartona i ljepenke.

2.1.4. Trendovi u ambalaži

Fleksografski tisak već dugo bilježi porast udjela u svjetskom tržištu, pogotovo u području etiketa, fleksibilne ambalaže, kartonske ambalaže i papirne ambalaže. Fleksografski strojevi ekonomski su puno prihvatljiviji od strojeva za ofsetni tisak i bakrotisak [7].

Fleksografski tisak temelji se na jednom od najstarijih principa otiskivanja, visokom tisku. Tiskovni elementi na tiskovnoj formi su povišeni u odnosu na slobodne površine, a tiskarsko bojilo se nanosi samo na povišene elemente, s kojih se obavlja otiskivanje [7].

Iako u ovom trenutku u reprodukciji papirne i kartonske ambalaže još uvijek je ofset primarna tehnika reprodukcije, stalno unaprjeđenje te ekonomska i ekološka (korištenje vodenih boja) prihvatljivost fleksografskog tiska bi mogla utjecati na promjenu te činjenice.

2.2. Tiskarske boje

2.2.1. Sastav tiskarske boje

Tiskarska boja je fina smjesa (disperzni sustav) koja se sastoji od koloranta, veziva, punila, otapala i pomoćnih sredstava (sušila, voskova..). Tiskarska boja ima sposobnost da se u toku procesa tiska veže za podlogu na koju se otiskuje. Bitno je poznavati reološke karakteristike tiskarske boje i način na koji se ona suši nate karakteristike podloge na koju se nanosi, kako bi se mogla odabrati odgovarajuća tiskarska boja za tiskarsku tehniku kojom će se otiskivati. U tiskarskoj boji dispergirana stvar (faza) je pigment, a disperzno sredstvo je vezivo.

Koloranti mogu biti pigmenti ili bojila. Njihova zadaća je osigurati obojenje na tiskovnoj podlozi tako što apsorbiraju svjetlost određene valne duljine, ovisno o njihovoj strukturi [8].

Pigment je kruta, kemijski čista tvar (netopivi fini prah) koji pomiješan s prikladnim vezivom tiskarskoj boji daje obojenje. Pigmenti su netopivi u vodi i vezivima u kojima se raspršuju i s kojima se moraju dobro močiti, pigmenti s vezivom tvore koloidne disperzije. Može se reći da pigmenti daju obojenje zbog selektivne apsorpcije i refleksije svjetlosti. Močenje pigmenta s vezivom direktno utječe na kvalitetu tiskarske boje. Što je bolje močenje to je veća mogućnost obavijanja svake čestice pigmenta s vezivom i na taj način sprječavanja međusobnog djelovanja kohezionih sila između čestica pigmenta.

Bojila su krute organske tvari koje daju obojenje tiskarskim bojama. Za razliku od pigmenata uglavnom se otapaju u vezivu s kojima tvore molekularne disperzije. Bojila su zbog tog sjajna, izdašna i transparentna [8].

Punila su krute anorganske tvari koje mogu biti prirodnog ili umjetnog podrijetla. Mijenjaju reološka svojstva tiskarskih boja. Najpoznatija punila su barijev sulfat, kaolin, magnezijev karbonat, aluminijev hidroksid (hidratiziran) i silicijev dioksid [9].

Vezivo je tekuća komponenta boje koja služi kao nosilac pigmenta. Pigment je jednolično dispergirani u vezivu. Uloga veziva je da prenosi pigment kroz sustav za obojenje tiskarskog stroja i osigurati prijenos na tiskovnu formu, odnosno na tiskovnu podlogu te vezati pigment na površini. Također služi kako bi poboljšao otpornost otiska prema vlazi i masnoćama, spriječilo sedimentaciju pigmenta i dalo sjaj otisnutoj boji. Veziva tiskarskih boja su ulja, smole i otapala.

Većina tiskarskih boja u svom sastavu sadrži određenu količinu otapala koje otapaju smolu držeći je u stabilnoj otopini tijekom proizvodnje, skladištenju i tiska te određuju viskoznost tiskarske boje. Odabir otapala ovisi o vrsti tiskarske podloge i krajnjoj uporabi otiska. Nakon otiskivanja, otapalo bi trebalo ispariti u što kraćem vremenskom roku. To se ne odnosi na otapala koje služe kao omekšivači tvrdih filmova otisaka koji u suhom filmu zaostaju neodređeno vrijeme. Otapala po kemijskom sastavu mogu biti voda, ugljikovodici, ketoni, esteri, i alkoholi [10].

Dodatci poboljšavaju određena svojstva tiskarskih boja ili otklanjaju nepoželjne pojave u tisku. Oni se trebaju lako povezivati s vezivom ili gotovom tiskarskom bojom. Njihov postotni udio u boji je uglavnom vrlo nizak (1 - 5%). Kao dodatci tiskarskim bojama koriste se na primjer voskovi, ulja i masti. Oni smanjuju ljepljivost, sljepljivanje otiska te povećavaju otpornost otiska na otiranje. Antioksidansi pak inhibiraju sušenje boje u ambalaži ili na valjcima tiskarskog stroja [10].

2.2.2. Tiskarske boje po tehnikama tiska

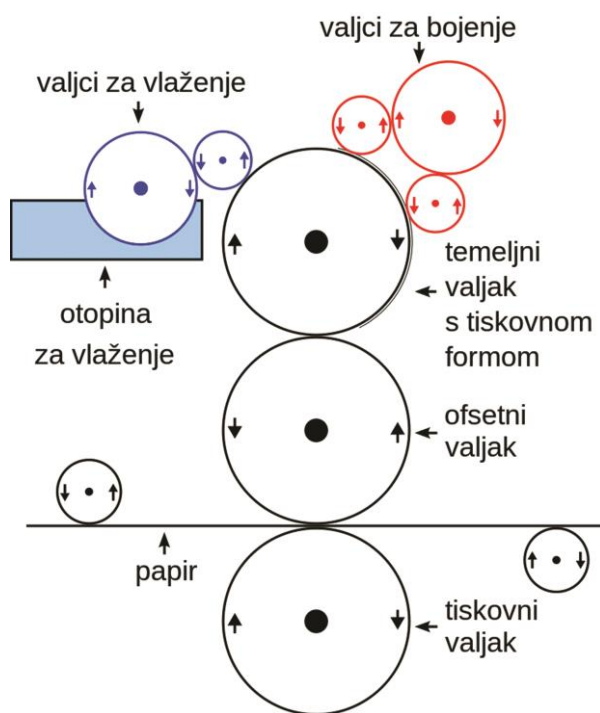
Različite tehnike tiska mogu se primjenjivati za tisak ambalaže. Uz izuzetak specijalnih namjena i visokokvalitetne ambalaže za koju se koristi tehnika bakrotiska, najčešće korištene su:

- Offset
- Fleksografski tisak

Kod ofset tehnike tiska, slobodne površine i tiskovni elementi su u “istoj ravnini”, a razlikuju se samo po svojim hidrofilnim (slobodne površine) i oleofilnim (tiskovni elementi) svojstvima. U procesu tiska na slobodne površine se nanosi otopina za vlaženje, prilikom čega postaju oleofobne. Nakon toga se na tiskovnu nanosi boja koja se prihvaća samo na oleofilne tiskovne elemente.

Sustav za obojenje sastoji se od velikog broja valjaka koji nanose boju na temeljni cilindar s tiskovnom formom, dok se boja s tiskovne forme na tiskovnu podlogu prenosi posredstvom ofsetnog cilindra [11].

Tiskarska boja za ofset mora imati visoki viskozitet, a otapalo koje se koristi u boji mora imati visoko vrelište kako ne bi isparilo prije nego se boja prenese na tiskovnu podlogu. S obzirom da se boja prenosi s elastične ofsetne gume, moguć je kvalitetno tiskati na razmjerno hrapavim tiskovnim podlogama.



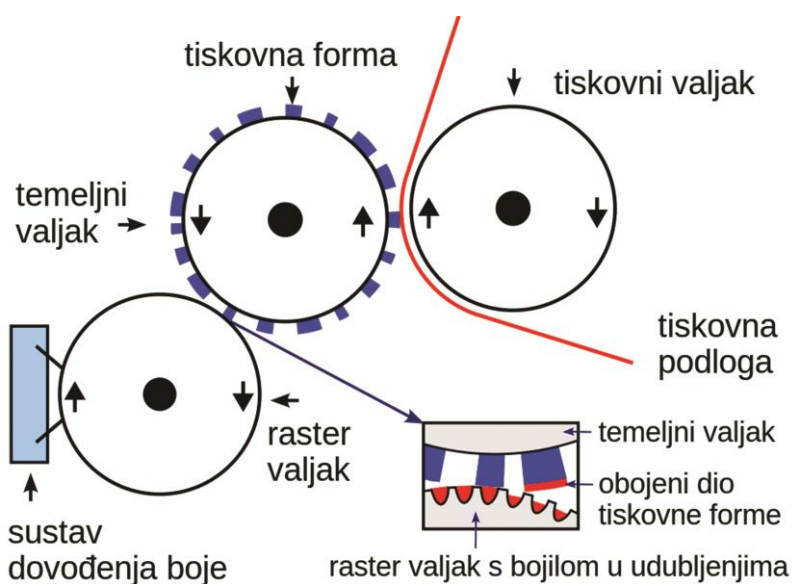
Slika 2. Offset tehnika tiska

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Ofsetni_tisak

Fleksografski tisak je tehnika visokog tiska koja se prvenstveno i koristi za tisak na ambalaži. Fleksibilna fotopolimerna tiskovna forma je u dodiru s materijalom za otiskivanje. Tiskarska boja je vrlo rijetka, preko duktora se prenosi na aniloks cilindar, a s njega na tiskovnu formu koja se nalazi na temeljnom cilindru.

Uloga aniloks valjka je doziranje tankog i jednoličnog nanosa tiskarske boje na tiskovnu formu. Guma i fotopolimeri su izdržljivi na trošenje i pritisci kod fleksografskog tiska su vrlo mali u odnosu na druge tehnike tiska zbog čega tiskovna forma može izdržati velike naklade. Zbog niskog viskoziteta fleksografskih boja, moguć je kratki prijenos boje. To pogoduje izradi fleksografskih strojeva koji su jeftiniji od strojeva plošnog tiska [11].

Neki od nedostataka ove tehnike tiska su osjetljivost na promjenu pritiska tijekom procesa tiska, veliki prirast rasterskih elemenata koji se trebaju kompenzirati, u odnosu na bakrotisak i ofsetni tisak ograničena je finoća rastera. Meko-oštre slike, mrke, tamne otiske također je teško reproducirati koristeći fleksografski tisak zbog ograničenja veličine točkica i razlika u pritisku između tamnih i svijetlih područja [12].



Slika 3. Fleksotisak – princip rada

Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Fleksotisak>

2.2.3. Boje na bazi otapala

Koristi se za tisak na neupojnim materijalima. U bojama na bazi otapala, smola se otapa u otapalu koje nakon što je tiskarska boja nanescena na tiskovnu podlogu, ispari, a smola pomiješana s česticama pigmenta zaostaje u obliku homogenog filma na površini podloge. Kako bi spriječili prebrzo sušenje na tiskovnom cilindru dodaju se male količine usporivača odnosno sporo isparavajućih otapala kao što su glikol eteri.

Važne komponente u bojama na bazi otapala su:

- Pigmenti
- Veziva: nitroceluloza, maleinske smole, polivinil butiral, poliamid, poliuretan

- Otapala: alkoholi, esteri, metoksi propanol
- Aditivi

2.2.4. Boje na bazi vode

Uvode se kao ekološki povoljnije boje koje će zamijeniti boje temeljene na hlapivim organskim otapalima. Tim bojama se otiskuje znatna količina kraft papira, koji se rabe za višelojne vreće, rabe se za tisak kutija od valovitog kartona, naljepnica i ostalih papirnatih proizvoda. Na upojnim podlogama suše se gotovo trenutno, dok je na neupojnim podlogama potrebno znatno više energije za sušenje otiska, što usporava brzinu otiska. Bojila temeljena na vodi sadrže više pigmenata (30%) u odnosu na bojila na bazi otapala, što omogućuje da se s malom količinom bojila može dobiti zadovoljavajuća gustoća obojenja.

Tablica 2 Usporedba boja na bazi vode i na bazi organskih otapala [13].

Boje na bazi vode	Boje na bazi otapala
Prednosti	
<ul style="list-style-type: none"> • Smanjen rizik od požara • Bolja stabilnost u tisku • Poboljšana radna sredina, • Bolje karakteristike transfera boje 	<ul style="list-style-type: none"> • Brzina sušenja se lako podešava • Veća brzina tiska • Brzo obilno hlapljenje • Niske površinske sile, dobra adhezija • Dobra otpornost na vodu • Dobra topljivost
Nedostaci	
<ul style="list-style-type: none"> • Slaba otpornost na abraziju na folijama • Smanjena otpornost na vodu, • Problemi u kontaktu s vodom, • Lakše se pjenu, • Problemi sušenja pri većim brzinama tiska 	<ul style="list-style-type: none"> • Restrikcije uvjetovane zaštitom okoliša • Potencijalni rizik za zdravlje • Rizik od požara • Relativno niska točka zapaljenja

2.3. Lakovi i premazi

2.3.1. Uloga lakova

Lakovi u tisku ambalaže služe kao zaštita otiska od mehaničkih utjecaja tijekom transporta i svih skladištenja. Također, lakiranjem se povećava sjaj otiska i tako se povećava sama uočljivost proizvoda. Lakovi za premazivanje temelje se na organskim vezivima koji mogu

biti tekućine, praškovi, te fizikalno ili kemijski sušeci materijali. Prilikom lakiranja važan je odabir tiskovne podloge. Ovisno o kvaliteti tiskovne podloge mijenjati će se sjaj, odnosno može doći do smanjenja kvalitete otiska.

Koriste se različiti lakovi ovisno o zahtjevima premazivanja i tehnologiji koja se koristi za nanos laka. U osnovi lakove možemo podijeliti na: lakove na bazi ulja, vododisperzivne lakove i UV lakove [14].

2.3.2. Vrste premaza i lakova

2.3.2.1. Lakovi na bazi ulja

Lakovi na bazi ulja mogu se usporediti sa bezbojnim ofsetnim bojama. Glavni sastojak lakova na bazi ulja su alkidne smole, sušiva ulja, mineralna ulja i aditiva koji ubrzavaju proces sušenja. Nanose se na podlogu sa ofsetnim tiskarskim jedinicama. Do sušenja dolazi upijanjem u podlogu i oksidacijom, tj. Dvostruke veze nezasićenih masnih kiselina ($C=C$) privlače kisik iz zraka i uz pomoć sušila ih vežu u nove ($C-C$) spojeve. Tako dolazi do 3D umreženja, ali i do različitih popratnih reakcija koje formiraju niskomolekularne spojeve, kao što su hlapljivi ketoni, aldehidi i hidroksilni spojevi.

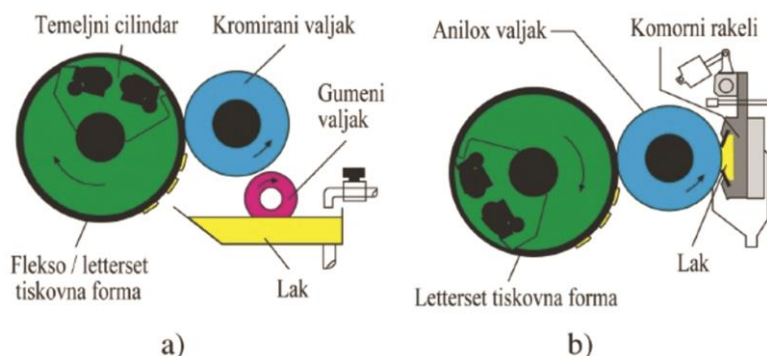
Primjena lakova na bazi ulja u industriji ambalaže je mala, lakiranjem se dobija samo mehanička zaštita dok je efekt sjaja slab. Za postizanje boljeg estetskog izgleda treba se koristiti vododisperzivni lak ili UV lak [14].

2.3.2.2. Vododisperzivni lakovi

Otisci se nakon lakiranja moraju obavezno izložiti povišenoj temperaturi. Pritom će tekuće komponente iz laka prvo penetrirati tiskovnu podlogu. Nakon čega počinje faza isparavanja. Zbog toga se lakirana površina ne smije dirati prvih 10 sekundi nakon formiranja otiska, dok će u cijelosti trebati mnogo duže da se sloj laka osuši. Koristi se prvenstveno za lakiranje cijele otisnute površine. Dati će veći sjaj od lakova na bazi ulja, brže je sušenje otiska, manja je štetnost za okolinu, otisak ne mijenja ton tijekom starenja, lakovi nemaju mirisa. Vododisperzivni lak sadrži četiri glavne komponente: polimerna disperzija, smole topive u vodi, voda i aditivi.

U tiskarskom procesu metode nanašanja vododisperzivnih lakova mogu biti različite. U ofsetnim tiskarskim strojevima koristi se posebna lak jedinica (sistem nanašanja glatkim

valjcima ili sistem s komornim rakelom) ili jedinica za vlaženje (*off-line* strojevi za lakiranje). Jedinicom za fleksografski tisak (aniloks valjkom) prikazana je na slici 4.



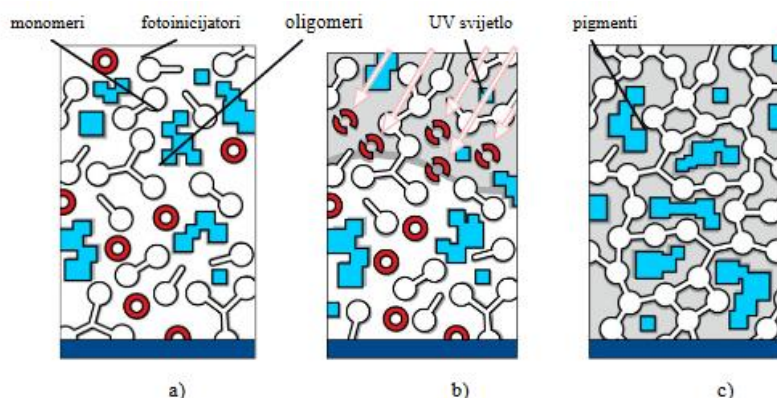
Slika 4. Jedinice za lakiranje

Izvor: Deni Macinić, Kristijan Golubović, Igor Majnarić, Utjecaj efekta lakiranja na optička svojstva ofestnih otisaka, Grafički fakultet u Zagrebu

Kako bi se ubrzalo sušenje preporučeno je korištenje infracrvenih lampi koje imari srednje područje IR zračenja, a pri tome se moraju koristiti i sustavi za hlađenje kako bi se otisci ponovno vratili na početnu temperaturu [15].

2.3.3. UV lakovi

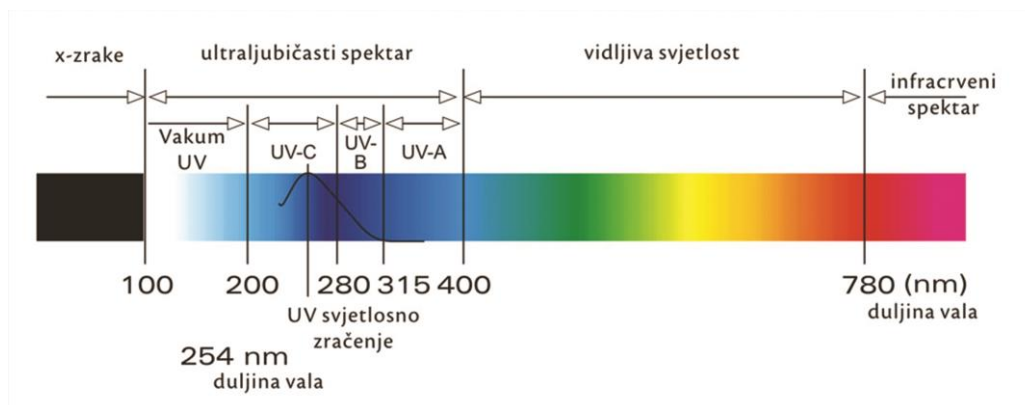
UV lakovi sastoje se od tekućih smola, aditiva i fotoinicijatora. Fotoinicijatori omogućuju pokretanje lančane reakcije umrežavanja molekula pod utjecajem UV zračenja u mrežu monomera i oligomera. Pod djelovanjem UV zračenja, UV lakovi se polimeriziraju u čvrsti film. Mehanizam sušenja je gotovo trenutačan. Za provođenje UV lakiranja presudnu ulogu ima sastav UV laka, koji sadržava: fotoinicijatore, monomere, oligomere, aditive i pigmente.



Slika 5. Proces stvrdnjavanja UV laka a) tekući lak, b) proces polimerizacije, c) tvrdi film

Izvor: Deni Macinić, diplomski rad, Utjecaj lakiranja na mehanička svojstva ambalaže, Grafički fakultet u Zagrebu, Zagreb 2013.

Da bi se primijenio UV lak, strojevi moraju sadržavati dodatnu jedinicu za sušenje, koja će otiske sušiti djelovanjem UV zraka. UV zračenje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama od 10 nm do 400 nm, s energijom fotona od 3 eV do 124 eV.



Slika 6. UV spektar

Izvor: <http://www.hoya.hr/zanimljivost/sunce-i-uv-zracenje/73/>

Promatrajući utjecaj na stvrdnjavanje filma, UV zračenje se dijeli na 3 područja: UV-A ili dugovalno (400-315 nm), UV-B ili srednjevalno (315-280 nm) i UV-C ili kratkovalno (<280 nm). UV-C je bitno jer pokreće reakcije polimerizacije UV laka, dok UV-A pruža podršku i omogućava pokretanje reakcije UV-B zračenje osigurava visoku propusnost slojeva laka. Za razliku od uljnog i vododisperzivnog laka, UV lakiranjem se postiže puno veći efekt sjaja, otisci imaju veliku glatkoću koja se drugim lakovima ne može postići.

Od svih načina lakiranja na ofsetnim strojevima, najveći efekt sjaja i najveću otpornost na mehaničko otiranje omogućava UV lakiranje. Osim toga, lakiranje u UV tehnologiji ne zahtjeva pudranje zbog trenutačnog sušenja, te omogućuje tisak na neupojnim podlogama. Time je ostvarena mogućnost različitih vizualnih i mirisnih efekta [16].

Tablica 3. Debljina nanosa najčešće korištenih lakova na ambalaži [16].

Vrsta laka	Debljina mokrog filma (μm)	Debljina osušenog filma (μm)
Vododisperzivni lak	3-6	1-3
UV lak	2-5	2-5

2.3.4. Silicijev dioksid

Silicijev dioksid (SiO_2) je prirodni mineral, kremen, visokog tališta i velike čvrstoće. U prirodi se nalazi u 17 oblika, od kojih su najpoznatije amorfne modifikacije kvarc, opal i diatomejske zemlje. Najvažniji je spoj silicija koji je veoma rasprostranjen u prirodi (nalazimo ga u pijesku). Obično je zlatnosmeđ zbog prisutnih željezovih oksida te u sastavu različitih minerala dragoga i poludragoga kamenja (primjerice ametista i oniksa). Prirodni silicijev dioksid se koristi u proizvodnji proizvoda od porculana, betona, abraziva, silikatne opeke, keramike, fajena, dinasta, silikatna stakla. Sintetička silika koristi se kao punilo u proizvodnji guma [17].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 Priprema uzoraka

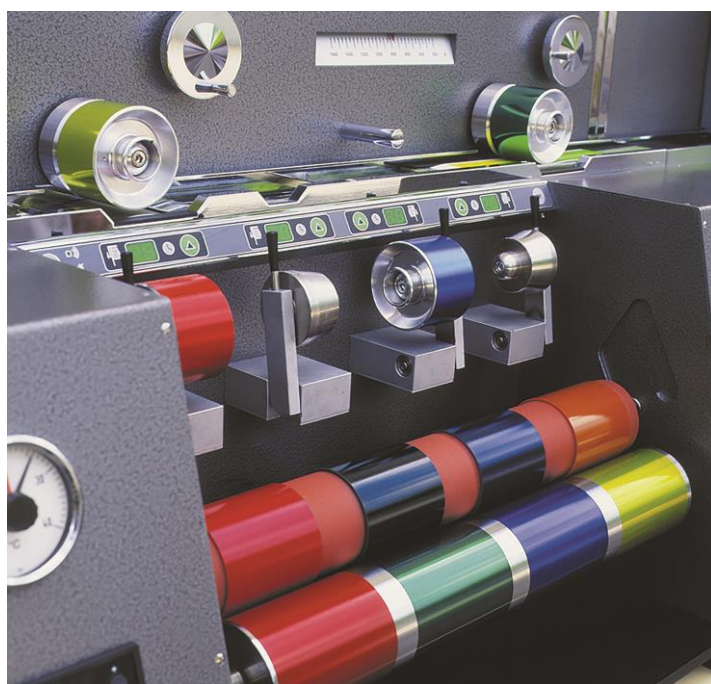
U svrhu ovog završnog rada izvršeno je ispitivanje na dvije vrste papira koji su izrezani na potrebne dimenzije (250 x 42 mm) kako bi zadovoljile zahtjevima uređaja za probno otiskivanje. Papir koji je korišten je umjetnički papir 300 g/m², sjajni i mat (UPM, trgovačkog naziva *Finesse gloss* i *Finesse silk*),. Boje koje su korištene su coldset ofsetne procesne boje (CMYK), proizvedene od *SunChemical* (SAD), trgovačkog naziva *SunLit Express*.

Tako otisnuti uzorci su nakon procesa sušenja i evaluacije premazani funkcionalnim premazom. Funkcionalni premaz je pripremljen umješavanjem 0,75% čestica silicijevog dioksida u sjajni UV lak. Proces miješanja je proveden magnetnom miješalicom u trajanju od 3 sata na 1200 okr/min pri sobnoj temperaturi.

3.1.1. Tisak procesnih boja

Tisak na uzorke napravljen je na uređaju za probno otiskivanje (slika 7.) proizvođača *Pruefbau, MZ II*.

To je laboratorijski uređaj koji služi za simuliranje plošnog tiska. Uređaj pruža veliku fleksibilnost prilikom stvaranja različitih uvjeta za tisak zbog čega nema potrebe za provedbu probnog otiskivanja na proizvodnim tiskarskim strojevima u tiskarama [19]. Za otiskivanje uzoraka potrebnih za provedbu ovog istraživanja brzina otiskivanja bila je 1 m/s, vrijeme razribavanja tiskarske boje u trajanju od 30 sekundi te nanos tiskarske boje na tiskovnu formu u trajanju od 30 ciklusa. Boja je u sustav za razribavanje nanešena sa mikropipetom u iznosu od 0,12 ml. Postavljeni pritisak između tiskovne forme i tiskovne podloge je 150 N/cm².



Slika 7. Pruefbau MZ - II printability tester

Izvor: <http://pruefbau.com/en/offsetdruck/>

3.1.2 Lakiranje uzoraka

Uzorci su lakirani na IGT F1 uređaju za otiskivanje probnih otisaka za fleksotisak (slika 8).

Korišten je UV lak u koji je dodano 0,75% SiO₂, miješano 2,5 sata magnetnom miješalicom na 1000 rpm, na sobnoj temperaturi. Korišteni su aniloks valjci različitih volumena 7,5; 11,5; 14 i 18 ml/m². Aniloksi su bili različitih linijatura, 7,5 ml/m² je imao linijaturu 140 l/cm; 11,5 ml/m² - 80 l/cm; 14 ml/m² 110 l/cm i 18 ml/m² 90 l/cm. Brzina otiskivanja je iznosila 0,3 m/s, a pritisak aniloksa na tiskovnu formu (standardna fotopolimerna tiskovna forma) iznosi 200 N, a tiskovna forma na tiskovnu podlogu 300 N..

Nakon otiskivanja uzorci su se sušili pomoću laboratorijskog *Technigraf Aktiprint L10-1* uređaju za sušenje [19] prilikom čega se lak trenutno osušio pod utjecajem UV lampi.



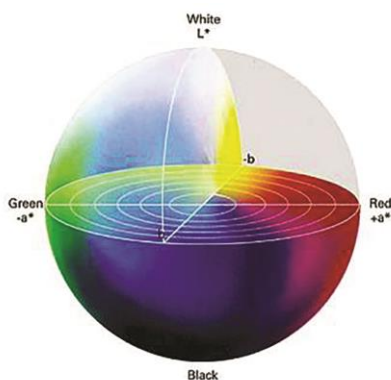
Slika 8. IGT F1

Izvor: <http://www.igt.nl/igt-testers/graphic/f1-1056282152>

3.2 Evaluacija uzoraka

3.2.1 Spektrofotometrija

Spektrofotometrija omogućuje fizikalnu analizu, spektralnu analizu po valnim duljinama, te mjerenje reflektivnih i transmitivnih svojstva objekta. Nema interpretacije vida čovjeka, ali indirektno mog izračunati psihofizikalni kolorimetrijski podaci. Spektrofotometar je uređaj kojim se rade mjerenja. Princip rada je takav da se uzorak postavlja na podložak iznad izvora. Procesor obrađuje podatke, te se dobiva podatak o reflektanciji u LAB sustavu (prikazan na slici 10.). Očitavanje transmitancije se dobiva tako da senzor mjeri karakteristike dijela spektra koji je prošao kroz uzorak, dobiveni podaci se također dobivaju u $L^*a^*b^*$ sustavu [19].



*Slika 10. $L^*a^*b^*$ sustav boja*

Izvor: <https://www.sony.hr/campaign/SWT/tutorials/images/color1.jpg>

Kolorimetrijska mjerenja provedena su s X-rite eXact uređajem (slika 11.). To je ručni spektrofotometar koji služi za definiranje kolorimetrijskih značajki CMYK boja i spotnih boja. Dodatno može se koristiti za određivanje optičkih karakteristika papira. Ključne značajke spektrofotometra su zaslon u boji osjetljiv na dodir, automatska kalibracija, podržavanje svih načina mjerenja koji su u skladu s ISO standardima (M0, M1, M2, M3), funkcija za određivanje zadovoljavajućeg otiska te softver za upravljanje instrumentima i mjerenja prijenosa podataka [19].



Slika 11. X-rite eXact spektrofotometar

Izvor: <http://www.ambalaza.hr/hr/casopis/2013/3/x-rite-i-pantone-rjesenja,315,10446.html>

3.2.2. Sjajnost uzoraka (*gloss*)

Sjajnost uzorka određena je pomoću glossmetra koji mjeri svjetlost koja se reflektira od otisaka pod određenim kutem (slika 12.). Mjeri se udio svjetla koji se reflektira pod istim kutem pod kojim je upao. Što je taj udio veći, uzorak je sjajniji. Postupak određivanja sjajnosti je takav da se glossmetar postavi iznad uzorka, te pritiskom na tipku start uređaj izvršava mjerenje sjajnosti pod kutevima od 20°, 60° i 80°. Mjerenje sjaja za pripremljene uzorke se provodilo pod kutem od 60°.

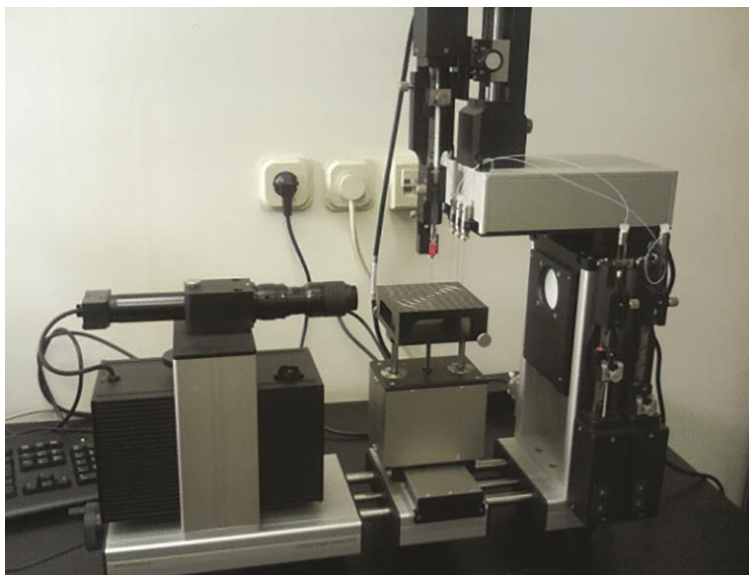


Slika 12. Glossmetar

Izvor: <https://www.indiamart.com/proddetail/statistical-mini-glossmeter-10607351148.html>

3.2.3. Kontaktni kut

Kontaktni kut na lakiranim uzorcima sa vodom analizirani su pomoću *Data Physics OCA 30* uređajem (slika 13). kako bi se utvrdio jednoličan premaz laka. Kontaktni kut izmjeren je metodom viseće kapi, napravljeno je 10 mjerenja za svaku procesnu boju na sjajnom papiru, te onda na mat papiru. Volumen kapi iznosio je 1 μl . Mjerenja kontaktnog kuta provedena su 2 s nakon što je kap dotaknula površinu uzorka.



Slika 13. Goniometar Data Physics OCA 30

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Goniometer-Dataphysics-OCA-30-Figure-2-Measurement-of-the-contact-angle-23-Sample_fig5_280305531

3.2.4. Otpornost na savijanje

Na lakiranim uzorcima provedeno je ispitivanje otpornosti na savijanje pomoću *Lorentzen & Wettre bending tester* uređaja (slika 14). Uređaj koji služi za mjerenje otpornosti papira i kartona na savijanje. Rezultate može prikazati u Taber jedinicama za krutost i MD/CD omjer tj. omjer rezultata otpornosti papira u smjeru vlaknaca (MD), te u okomitom smjeru (CD). Uzorak se drži pomoću pneumatske stezaljke, time eliminiramo pogreške prilikom mjerenja uzrokovanih time da je uzorak stisnut prejako ili preslabo [20].

Ispitivanje se provodilo na način da se uzorak postavio između stezaljki uređaja, koje nakon pritiska na tipku savijaju uzorak pod određenim kutem i pri čemu uređaj izmjeri otpor.



Slika 14. Lorentzen & Wettre bending tester

Izvor: <https://new.abb.com/pulp-paper/abb-in-pulp-and-paper/products/lorentzen-wettre-products/laboratory-paper-testing/paper-strength-testing/l-w-bending-tester>

Postavke uređaja za određivanje otpornosti na savijanje bile su: TABER konstanta 0,0483, udaljenost savijanja 50 mm, brzina savijanja 5°/s. Ispitivanje je vršeno samo u smjeru toka vlakana, a izrezivanje uzoraka na potrebnu dimenziju (80 x 38 mm) provedeno je pomoću *Lorentzen & Wettre Sample Punch*.

3.2.5. Masa lakiranih uzoraka

Da bi se odredila procjena količine prenesenog laka, lakirani uzorci su vagani pomoću *Mettler Toledo XS205DU Dual Range Analytic Scale* vage (slika 15). To je precizna analitička vaga koja omogućuje mjerenje u rasponu od 0 do 220 g, s preciznošću od 0,01 mg/0,1 mg. Vagano je po 5 uzoraka kako bi se umanjio utjecaj eventualnih lokalnih nejednakosti u tisku.



Slika 15. Mettler Toledo XS205DU Dual Range Analytic Scale

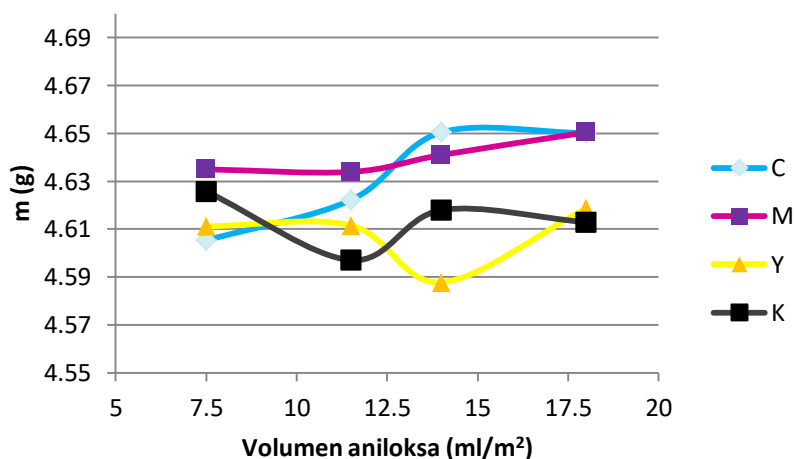
Izvor: https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Rezultati određivanja mase uzoraka

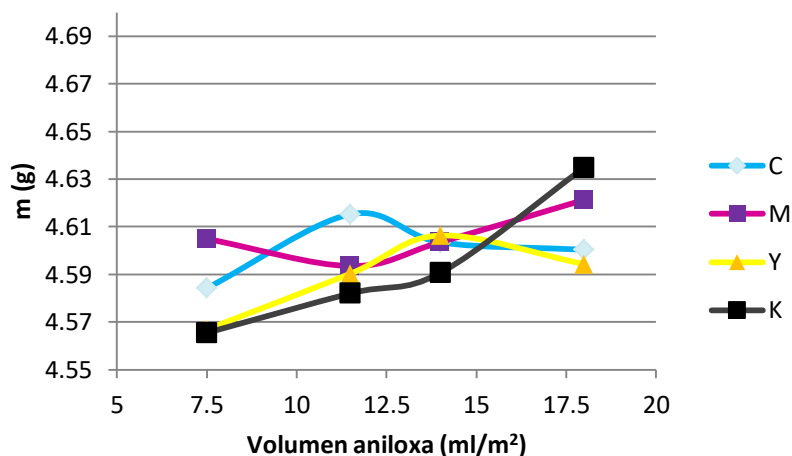
Na slikama 17 i 18 prikazani su rezultati mjerenja mase lakiranih uzoraka. Točke na grafičkom prikazu predstavljaju srednju vrijednost mase uzorka za određenu boju (cyan – C, magentu – M, žutu – Y i crnu – K) i određeni aniloks.

Iz slike 17 vidi se da uzorci koji su otisnuti plavom, magentom i žutom nakon lakiranja sa aniloksom volumena 18 ml/m² imaju najveću masu, dok uzorci otisnuti crnom najveću masu imaju nakon lakiranja sa aniloksom volumena 7,5 ml/m². Uzorci otisnuti plavom i magentom najmanju masu imaju nakon lakiranja sa aniloksom volumena 7,5 ml/m², uzorci otisnuti žutom nakon lakiranja sa aniloksom volumena 14 ml/m², dok uzorci otisnuti crnom imaju najmanju masu nakon lakiranja sa aniloksom volumena 11,5 ml/m².



Slika 17. Masa lakiranih uzoraka na sjajnom papiru

Iz slike 18 (mat papir) vidi se da masa uzoraka otisnutih crnom raste kako se povećavao i volumen aniloksa koji se koristio. Uzorci otisnuti magentom najveću masu imaju nakon lakiranja aniloksom volumena 18 ml/m², a najmanju masu nakon lakiranja aniloksom volumena 11,5 ml/m². Uzorci otisnuti plavom najveću masu imaju nakon lakiranja aniloksom volumena 11,5 ml/m², a najmanju kod aniloksa sa najmanjim volumenom isto kao i uzorci otisnuti žutom, koji najveću masu imaju nakon lakiranja sa aniloksom volumena 14 ml/m².



Slika 18. Masa lakiranih uzoraka na mat papiru

Rezultati na slikama 17 i 18 pokazuju da povećani volumen aniloksa ne rezultira s analognim povećanjem prijenosa laka, no kod većine uzoraka se vidi trend porasta tj. da je na uzorku povećana količina osušenog premaza. Odstupanja od trenda mogla bi biti posljedica konstrukcije uređaja za probno otiskivanje obzirom da na istom pokretanje aniloksa je pomoću trenja s tiskovnom formom te bi moglo doći do proklizavanja te manje količine laka na tiskovnoj formi te posljedično na otisku.

4.2. Rezultati mjerenja kontaktnog kuta s vodom

Srednje vrijednosti kontaktnog kuta između lakiranih uzoraka (sjajni/mat papir) i vode prikazani su u tablici 4. Provedeno je po 10 mjerenja za svaki uzorak, a u tablici je prikazana srednja vrijednost i standardna devijacija.

Tablica 4 Srednje vrijednosti kontaktnog kuta između lakiranih uzoraka i vode

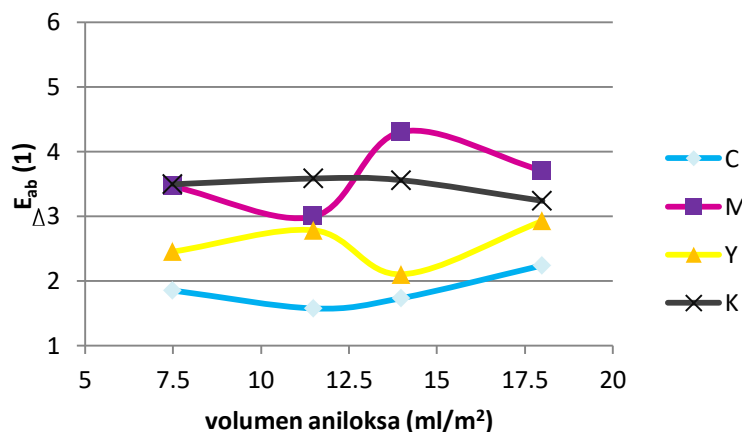
Boja	Sjajni papir (Gloss)	Mat papir
Yellow	29,83 ± 0,67	57.66 ± 2,00
Magenta	19.80 ± 1,07	38.56 ± 1,03
Cyan	23.40 ± 0,67	44.01 ± 2,80
Crna	26.66 ± 0,84	51.91 ± 1,41

Iz prikazanih rezultat može se primijetiti da je premaz te njegova površinska svojstva pod značajni utjecajem materijala (boje) na koju se nanosi. Dodatno, može se primijetiti da se površina premaza na mat papiru slabije moči s vodom od premaza na sjajnom papiru.

4.3. Rezultati kolorimetrijskih mjerenja

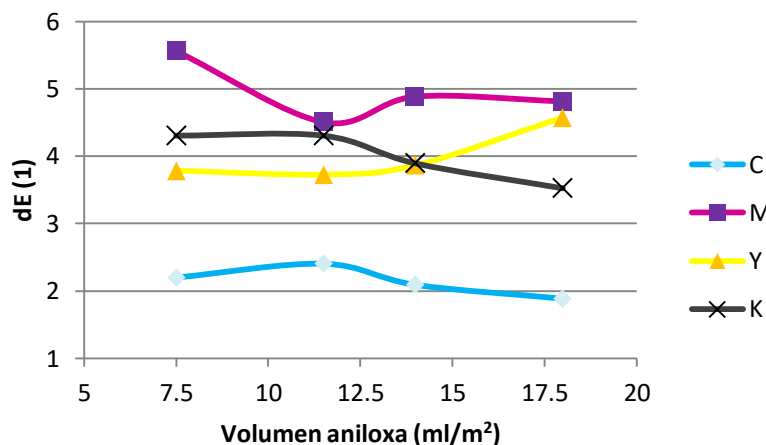
Na slikama 19 i 20 prikazani su rezultati mjerenja kolorimetrijske razlike između nelakiranih i lakiranih uzoraka. Točke na grafu prikazuju srednju vrijednosti kolorimetrijske razlike za određenu boju, cyan (C), magentu (M), žutu (Y) i crnu (K). Na x-osi se nalaze vrijednosti volumena aniloksa koji se koristio (7,5; 11,5; 14; 18).

Slika 19. prikazuje rezultate za uzorke otisnute na sjajnom (gloss) papiru. Iz rezultata je vidljivo da su vrijednosti za žutu i magentu i cyan veće sa povećanjem volumena aniloksa, dok kod crne nema velike promjene. Najmanju promjenu u odnosu na nelakirani uzorak ima cyan (ispod ΔE_{ab} 2) dok su crna i magenta iznad ΔE_{ab} 3, što je lako uočljivo [21]. Također se vidi da se kolorimetrijske razlike kod uzoraka otisnutih magentom i žutom sviše povećavaju s povećanjem nanosa premaza u odnosu na uzorcima cyana.



Slika 19. Vrijednost kolorimetrijske razlike za sjajni papir

Slika 20 prikazuje rezultate za uzorke otisnute na mat papiru. Najveća promjena u vrijednostima vidljiva je na uzorcima otisnutim magentom, dok se vrijednosti za ostale boje nisu drastično promijenile. Za razliku od otisaka na sjajnom papiru, kolorimetrijske razlike se s povećanjem volumena aniloksa malo smanjuju. Dodatno, kolorimetrijska razlika je značajna i osim cyana za ostale boje je na granici definirane tolerancije po ISO standardu (ISO 12647-2:2013) te je vrlo izgledno da navedeni uzorci ne bi zadovoljili standardne tolerancije [22].

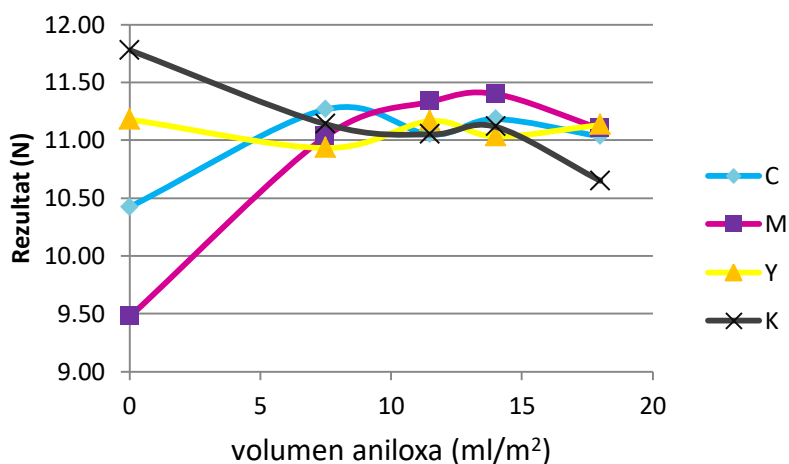


Slika 20. Vrijednost kolorimetrijske razlike za mat papir

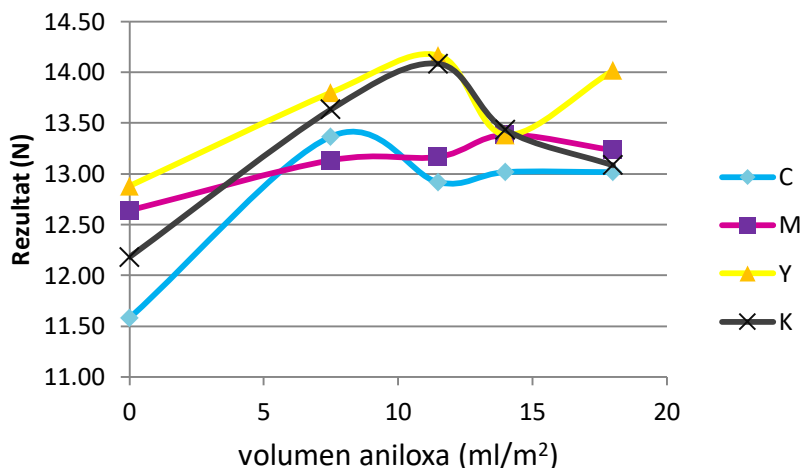
4.4. Rezultati određivanja otpornosti na savijanje

Na slikama 21 i 22 prikazani su rezultati mjerenja otpornosti na svijanje. Točke prikazuju srednju vrijednost mjerenih vrijednosti. Vrijednost 0 na x-osi predstavlja rezultate za nelakirane uzorke.

Promatranjem izmjerenih vrijednosti otpornosti na savijanje može se primijetiti da je otpornost na savijanje veća na mat papiru u odnosu na sjajni papir. Nadalje, iako prije lakiranja boja ima utjecaj, lakiranjem se vrijednosti otpora na savijanje gotovo izjednačavaju za sve boje na boje tiskovne podloge. Također se može primijetiti da se vidi trend povećanja otpora na savijanje na mat papiru te u skladu s rezultatima mase uzoraka (slika 18.) može se vidjeti direktna zavisnost povećane količine premaza sa otporom na savijanje uzoraka.



Slika 21. Rezultati otpornosti na savijanje za sjajni papir

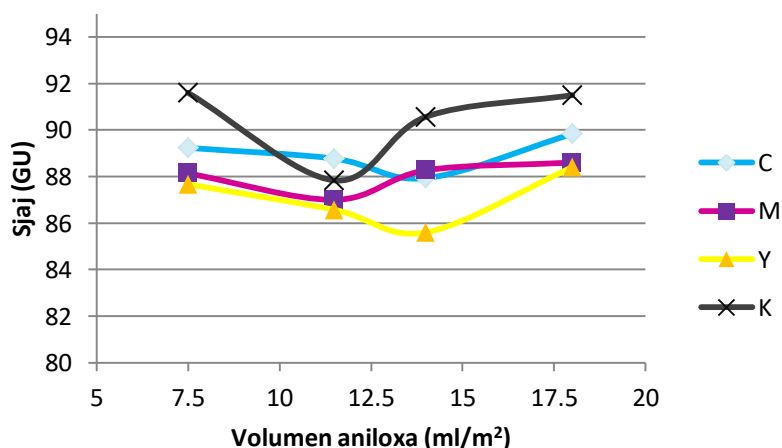


Slika 22. Rezultati otpornosti na savijanje za mat papir

4.5. Rezultati mjerenja sjaja

Na slikama 23 i 24 prikazani su rezultati mjerenja sjajnosti uzoraka za gloss i matt papir. Točke na grafu prikazuju srednju vrijednosti sjajnosti (*gloss unit*, GU) za kut od 60°, određenu boju (CMYK) i aniloks.

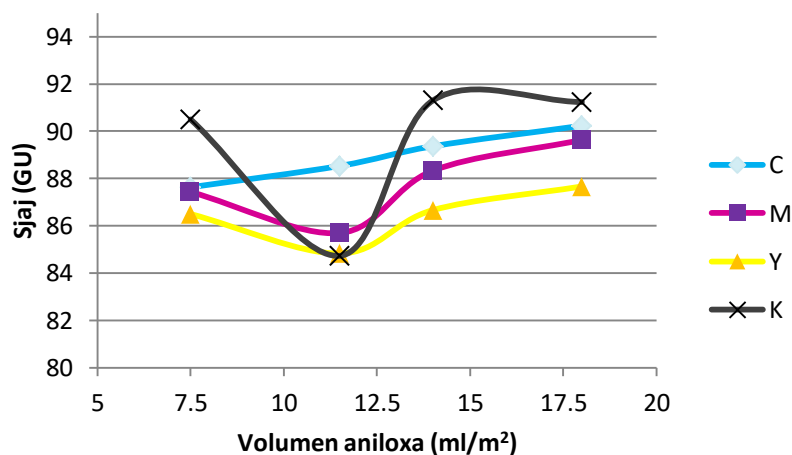
Iz rezultata na slikama 23 i 24 vidljivo je da na sjajnom papiru najviša vrijednost sjaja je izmjerena otisku crnom bojom, a najniža na otisku žute boje. Na sjajnom papiru je sjaj gotovo jednak na uzorcima lakiranim različitim aniloks valjcima, s izuzetkom crne boje lakirane aniloksom volumena 11,5 ml/m².



Slika 23. Sjajnost uzoraka na sjajnom papiru

Kao na sjajnom papiru, izuzetak od trenda ponašanja sjaja na uzorcima su uzorci crne, magente i žute s aniloksom 11,5 ml/m² (slika 24.) Takav rezultat sjaja mogao bi biti posljedica najniže linijature (90 l/cm) korištenog aniloks valjka koji zbog toga može

uzrokovati mikrohrapavost sloja premaza na površini uzorka. Zbog mikrohrapavosti može se izazvati raspršena refleksija svjetla te uređaj detektira manji sjaj.



Slika 24. Sjajnost uzoraka na mat papiru

Dodatno, vidljivo je da svi uzorci imaju vrlo visok sjaj. Kao i kod rezultata otpornosti na savijanje vidljivo je da na uzorcima na mat papiru povećavaju sjaj s povećanjem volumena aniloksa, dok su uzorci na sjajnom papiru gotovo konstantne vrijednosti sjaja neovisno o korištenom aniloksu. Kao što je navedeno ranije, takvo kretanje rezultata vjerojatna je posljedica boljeg prijenosa premaza na mat papiru, što je pokazano i masom uzoraka.

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je odrediti utjecaj funkcionalnih premaza odnosno količine nanosa na otiske primarnih boja na ambalažnom materijalu. Da bi se provelo ovo istraživanje pripremili su se otisci procesnih boja te su na njih aplicirani pripremljeni funkcionalni premazi tehnikom fleksografskog tiska sa različitim volumenima aniloks valjaka. Na tako pripremljenim otiscima određena su kolorimetrijska svojstva, otpornost na savijanje te sjaj otisaka i močenje vodom, a dodatno određena je masa premazanih otisaka kako bi se odredio prijenos premaza na otisak.

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da je upotreba aniloksa različitih volumena rezultirala s povećanim prijenosom premaza na mat papiru dok se isto nije primijetilo na uzorcima sjajnog papira. Sukladno tome, evaluacija otisaka je pokazala da količina premaza na otisku povećava sjaj i otpornost na savijanje otisaka neovisno o boji. No s druge strane lakiranje otisaka je nepovoljnije utjecalo na kolorimetrijske razlike na mat papiru neovisno o količini premaza tj. povećanje prenesenog premaza nije utjecalo na kolorimetrijske razlike u odnosu na nepremazani otisak.

Ovo istraživanje je dokazalo da povećana količina premaza pozitivno utječe na mehanička svojstva papira/kartona, no istovremeno uzrokuje značajna odstupanja u boji te je potrebno izvršiti testiranja kako bi se izbjegle nesuglasice između proizvođača i kupaca proizvoda grafičke djelatnosti.

6. LITERATURA

1. Koraljka de Carina, Mikrokrystalinična celuloza u funkciji barijernog premaza u materijalima za pakiranje namirnica, Završni rad, Grafički fakultet u Zagrebu, 2014.
2. Vrandečić N. S. Ambalaža-skripta, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Zavod za organsku tehnologiju, (2010.), Split.
3. Golubović, Tiskarske podloge i tiskarske boje koje se koriste u digitalnom tisku, Zbornik radova 7. znanstveno stručnog simpozija hrvatskih grafičara „Blaž Baromić“, 11-20, 2003., Senj
4. Nikolina, Jurić, Utjecaj strukture papira i koncentracije crnog pigmenta na formiranje rasterskih elemenata, Diplomski rad, Grafički fakultet u Zagrebu, 2011.
5. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/Dodaci%20vlaknima20u%20proizvodnji%20papira.pdf>, 4.9.2019.
6. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/10%20Karton%20i%20ljepenka.pdf>, 4.9.2019.
7. Ivan Malenica, Razvoj i budućnost ambalaže u cilju zaštite kupaca i proizvoda, Diplomski rad, Grafički fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2018.
8. Lucija Gamulin, Kriterij odabira tiskarskih boja za primjenu na prehrambenoj ambalaži, Završni rad, Grafički fakultet u Zagrebu, Zagreb 2015.
9. Jamnicki S, Evaluacija prikladnosti različitih klasa recikliranih papira za izradu zdravstveno ispravne prehrambene ambalaže, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, 2011.
10. <https://www.pac.gr/bcm/uploads/8-printing-inks-for-food-packaging.pdf>, 4.9.2019.
11. Sabina Hajrudinović, Granične vrijednosti fleksografskog tiska, diplomski rad, Grafički fakultet u Zagrebu, 2016.
12. Irena Bates, Reprodukcije fleksografskog tiska, Doktorski rad, Grafički fakultet u Zagrebu, 2013.
13. http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_visoki_offset.pdf, 4.9.2019.
14. Deni Macinić, Utjecaj lakiranja na mehanička svojstva ambalaže, diplomski rad, Grafički fakultet u Zagrebu, 2013.
15. Aida Peštelić, Iva Štrukar, Optička i mehanička svojstva metalnih inkjet otisaka urokovanih dodatnom termalnom obradom, Znanstveni rad, Grafički fakultet u Zagrebu, 2014.

16. Zjakić I. Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2007.
17. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/325122.php>, 4.9.2019.
18. https://www.dataphysics-instruments.com/Downloads/Info_Brochure_V1.1_EN.pdf, 4.9.2019.
19. https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf, 4.9.2019.
20. Marko Vrkić, Lorentzen & Wettre uređaj za testiranje savijanja, Završni rad, Grafički fakultet u Zagrebu, 2015.
21. Color difference Delta E - A survey, April 2011Machine Graphics and Vision 20(4):383-411, Wojciech Mokrzycki, Maciej Tatol
22. ISO 12647-2. (2013) Graphic technology -- Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints -- Part 2: Offset lithographic processes